Meten aan analoge audio-apparatuur

Voor een hobby-elektronicus kan het meten aan analoge audio-apparatuur een zinvolle verrijking van de hobby zijn. Wij leggen in dit artikel uit wat te meten, hoe te meten en wat u er voor nodig hebt.

Auteur: Jos Verstraten, Maastricht, Nederland
Email: verstraten-1947@outlook.com

Publicatiedatum: 02-10-2025

Eerst wat noodzakelijke theorie

Opmerking vooraf
De titel van dit artikel maakt deze opmerking eigenlijk overbodig, maar wij denken dat het tóch noodzakelijk is duidelijk te vermelden dat de in dit artikel besproken meettechnieken alleen bruikbaar zijn voor het meten in analoge audio-apparatuur. Systemen die werken met digitale verwerking van audiosignalen zijn niet op deze manier te testen.

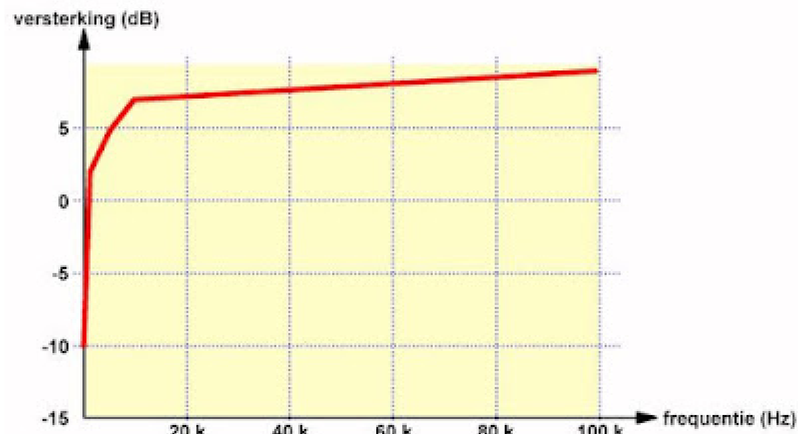
Wat kunt u meten?
Aan analoge audio-apparatuur kan heel wat gemeten worden. Niet alle metingen zijn echter even zinvol, zodat de nadruk in dit artikel ligt op het meten van:
- Spanningsniveaus.
- Frequentiekarakteristieken.
- Signaal/storing-verhoudingen.
- Dynamiek.
- Overspraakdemping.
- Maximaal vermogen.
- Harmonische vervormingen.

Met deze zeven metingen krijgt u een goede indruk van de kwaliteit van een audioschakeling.

Het gebruik van logaritmische grafieken
De meeste specificaties van een audio-apparaat, zoals vervorming, frequentiekarakteristiek en maximaal vermogen, zijn frequentie-afhankelijk. Audio-apparatuur verwerkt signalen met frequenties tussen 10 Hz en 100 kHz. Dat wil zeggen dat de waarden van deze specificaties heel overzichtelijk in een grafiek weergegeven kunnen worden. Er doet zich hierbij echter een praktisch probleem voor. Stel dat u de versterking van een versterker hebt opgemeten bij de onderstaande meetfrequenties:
- 10 Hz: -10 dB
- 50 Hz: -7 dB
- 100 Hz: -4 dB
- 500 Hz: 0 dB
- 1 kHz: +2 dB
- 5 kHz: +5 dB
- 10 kHz: +7 dB
- 50 kHz: +8 dB
- 100 kHz: +9 dB

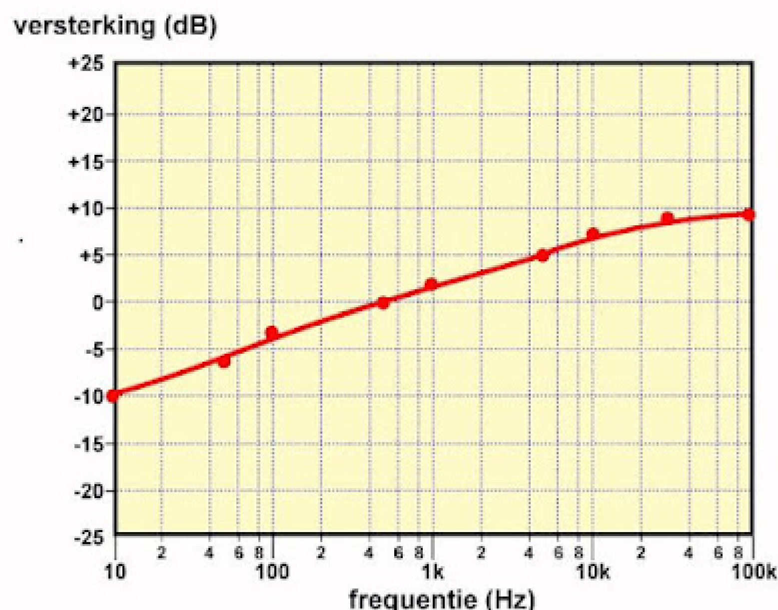
U kunt deze onoverzichtelijke meetwaarden zeer aanschouwelijk maken door deze op te nemen in een X/Y-grafiek. Op de horizontale X-as zet u de frequentie uit van 10 Hz tot 100 kHz, op de verticale Y-as zet u de versterking uit, van -10 dB tot 9 dB. Het resultaat van deze arbeid is te zien in de onderstaande figuur. Hoewel dit een zeer fraaie grafiek is, ziet u er vrij weinig op. Dat is een gevolg van de lineaire frequentieschaal. Omdat de X-as lineair is

ingedeeld, neemt het frequentiebereik van 0 Hz tot 20 kHz even veel ruimte in als het frequentiebereik van 80 kHz tot 100 kHz. De zeer interessante gegevens, namelijk het gedrag van het apparaat bij de zeer lage frequenties, zijn dus helemaal samengeperst op een paar millimeters van de frequentie-as! Dat gebied is zo smal dat de gegevens niet uit de grafiek zijn af te lezen.



Een frequentiekarakteristiek met een lineaire frequentieschaal.
(© 2025 Jos Verstraten)

De oplossing van dit probleem is gebruik te maken van een logaritmisch ingedeelde horizontale X-as. Wat dit betekent is geschetst in de onderstaande figuur. Nu neemt iedere frequentiedecade even veel ruimte in beslag, hetgeen wil zeggen dat het frequentiegebied van 10 Hz tot 100 Hz even breed is als dit van 10 kHz tot 100 kHz. Het gevolg is dat u een prachtige grafische kijk hebt op het gedrag van de versterker bij de allerlaagste frequenties.



Een frequentiekarakteristiek met een logaritmische frequentieschaal.
(© 2025 Jos Verstraten)

Logaritmisch grafiek papier
Om de eigenschappen van audio-apparatuur overzichtelijk in grafieken samen te vatten hebt u dus grafiek papier nodig met een logaritmisch ingedeelde horizontale as. Dat is moeilijk te verkrijgen, maar wij hebben twee van dergelijke grafieken als .PDF-bestand opgenomen in ons account op Google Drive, waarvan u deze kunt downloaden en nadien printen op A4-formaat. De eerste heeft een verticale as die ingedeeld is van +25 dB tot -25 dB en die dus uitermate geschikt is voor het opnemen van frequentiekarakteristieken. De tweede heeft een verticale as met een indeling van 0 tot 10 en is bruikbaar voor het opnemen van spannings-, vervormings- en vermogenskarakeristieken.

Aanklikbare link ➞ Logaritmisch_Papier_01.pdf
Aanklikbare link ➞ Logaritmisch_Papier_02.pdf

De referentiespanning U_{ref}
Bij het meten van een signaalspanning in audio-apparatuur is de absolute spanningsgrootte van dat signaal vaak niet van belang. De grootte van het signaal wordt dan vergeleken met een gestandaardiseerde referentiespanning U_{ref}. Die referentiespanning wekt in een weerstand van 600 Ω een vermogen op van 1 mW. De grootte van die spanning kunt u gemakkelijk uit de wet van Ohm en de wet van Joule berekenen:
$U_{ref} = I \cdot R$ (wet van Ohm)
$P = U_{ref} \cdot I$ (wet van Joule)
Uit deze laatste wet volgt:
$I = P / U_{ref}$
Voegt u deze stroomwaarde in de wet van Ohm in, dan ontstaat:
$U_{ref} = [P / U_{ref}] \cdot R$
of:
$U_{ref}^2 = P \cdot R$
Vervangt u in deze formule P door 1 mW en R door 600 Ω, dan kunt u de referentiespanning U_{ref} berekenen als 0,7745 V. In de praktijk wordt dit afgerond op 0,775 V. In de audiotechniek is het gebruikelijk de meeste metingen uit te voeren met een dergelijke spanning als referentie.

Werken met decibel
Bij dat refereren werkt men meestal niet met de volt, maar met de bel als eenheid. De bel beschrijft de logaritmische verhouding tussen een bepaalde spanning in volt en de beschreven referentiespanning van 0,775 V. De bel is echter een te grote eenheid en vandaar werkt men in de praktijk altijd met de decibel, afgekort tot dB:
$A = 20 \cdot \log_{10} [U / U_{ref}]$ (dB)
Een versterking A van 10 komt overeen met 20 dB, 100 met 40 dB en 1.000 met 60 dB.
Het werken met deze logaritmische verhouding heeft een aantal voordelen. U kunt op een eenvoudige manier grote versterkingen beheersen en de totale versterkingsfactor van een aantal in serie geschakelde trappen berekenen. Deze versterkingsfactoren kunnen dan simpelweg bij elkaar worden opgeteld.
Als u twee audiotrappen achter elkaar schakelt die ieder 1.000 keer versterken, kunt u de totale versterking berekenen door beide versterkingsfactoren te vermenigvuldigen:
$A_{totaal} = A1 \cdot A2$
$A_{totaal} = 1.000 \cdot 1.000 = 1.000.000$
Werkt u met dB, dat kunt u de versterkingsfactoren bij elkaar optellen! Dus:
$A_{totaal} = A1 + A2$ (dB)
$A_{totaal} = 60$ dB + 60 dB = 120 dB
Het optellen van getallen werkt in de praktijk veel eenvoudiger dan het vermenigvuldigen ervan.

Werken met dB-tabellen
Een nadeel van het werken met dB's is dat u lineaire verhoudingen tussen twee spanningen eerst moet omrekenen naar logaritmische verhoudingen. Gelukkig bestaan hiervoor tabellen. In de onderstaande tabel hebben wij enige veel voorkomende decibel waarden omgerekend naar een spanningsverhouding. Uit deze tabel kunt u aflezen wat er van een ingangsspanning van 1,00 V overblijft als die spanning een bepaald aantal decibel versterkt of verzwakt wordt. Die tweede kolom geeft dan meteen de versterking weer. Als u bij de technische specificaties van een voorversterker leest dat de versterkingsfactor gelijk is aan +5 dB, dan kunt u uit deze tabel aflezen dat dit overeen komt met een versterking van 1,778.

VERSTERKING	UITGANGSSPANNING BIJ 1,00 V INGANGSSPANNING
-40 dB	0,010 V
-35 dB	0,017 V
-30 dB	0,031 V
-25 dB	0,056 V
-20 dB	0,100 V
-15 dB	0,177 V
-10 dB	0,316 V
-5 dB	0,562 V
-4 dB	0,631 V
-3 dB	0,707 V
-2 dB	0,794 V
-1 dB	0,891 V
0 dB	1,000 V
+1 dB	1,122 V
+2 dB	1,259 V
+3 dB	1,413 V
+4 dB	1,585 V
+5 dB	1,778 V
+10 dB	3,162 V
+15 dB	5,623 V
+20 dB	10,00 V
+25 dB	17,78 V
+30 dB	31,62 V
+35 dB	56,23 V
+40 dB	100,0 V

Het omrekenen van dB naar de uitgangsspanning bij een ingangsspanning van 1 V.
(© 2018 Jos Verstraten)

dB's meten met analoge meetapparatuur
Analoge meters in deze digitale tijd? Ja, als u wilt meten in audio-apparatuur zult u uw vertrouwde digitale multimeter opzij moeten zetten en overgaan op een analoge wisselspanningsmeter. De goedkopere digitale multimeters hebben immers een frequentiebereik bij het meten van wisselspanningen dat veel te laag is. De meeste meters halen 5 kHz niet eens! Het voordeel van analoge meters is bovendien dat deze een dB-schaal hebben, iets dat alleen de duurdere digitale multimeters bieden.
U kunt uit de bovenstaande tabel aflezen dat:

- 0 dB overeen komt met een versterking van 1,000.
- 10 dB overeen komt met een versterking van 3,16.
- 20 dB overeen komt met een versterking van 10,00.

Dat zijn zeer belangrijke gegevens, omdat zij bepalen hoe een analoge wisselspanning millivoltmeter dB-waarden kan verwerken. Deze meters hebben een bereikenschakelaar die een 1/3/10/30/etc. verhouding heeft. De meetbereiken zijn dus 3 mV, 10 mV, 30 mV, 100 mV, 300 mV, 1 V, etc. Deze bereiken zijn niet willekeurig gekozen. De verhouding 3/1 (3) ligt erg dicht bij de 10 dB (3,162). Vandaar dat het omschakelen van de bereikenschakelaar overeen komt met een verhoging of een verlaging van de meetwaarde in dB met een factor 10.
Verder zal het duidelijk zijn dat het 0 dB punt op de schaal overeen komt met een spanning van 0,775 V. Dat is immers de referentiespanning en meet u een spanning met precies die

waarde, dan komt dit overeen met een versterking ten opzichte van de referentie van precies 1,000 oftewel 0 dB.
dB's meten met een analoge millivoltmeter is dus erg eenvoudig. Het meetbereik van 1 V bevat het 0 dB punt bij 0,775 V. Omschakelen van het meetbereik komt overeen met het optellen of aftrekken van 10 dB. Samengevat:

- 1 mV: 0 dB punt is -60 dB.
- 3 mV: 0 dB punt is -50 dB.
- 10 mV: 0 dB punt is -40 dB.
- 30 mV: 0 dB punt is -30 dB.
- 100 mV: 0 dB punt is -20 dB.
- 300 mV: 0 dB punt is -10 dB.
- 1 V: 0 dB punt is 0 dB.
- 3 V: 0 dB punt is +10 dB.
- 10 V: 0 dB punt is +20 dB.
- 30 V: 0 dB punt is +30 dB.
- 100 V: 0 dB punt is +40 dB.
- 300 V: 0 dB punt is +50 dB.

Staat de bereikenschakelaar in de stand '*10 V*' en meet u een spanning die op de dB-schaal op '*-4 dB*' staat, dan is de dB-waarde van de gemeten spanning gelijk aan +16 dB. 0 dB in de stand '10 V' komt immers overeen met +20 dB, zodat de schaalwaarde '-4 dB' overeen komt met 20 dB - 4 dB = 16 dB.

Noodzakelijke meetapparatuur

Inleiding

Voor het meten aan audio-apparatuur hebt u in ieder geval onderstaande apparaten nodig:

- AC millivolt- en dB-meter
- Sinus- en blokgolfoscillator
- Oscilloscoop
- Audio dummy load
- Eventueel distortiemeter

De AC millivolt- en dB-meter

Waarom u uw digitale multimeter niet kunt gebruiken hebben wij al uitgelegd. Audio-apparatuur verwerkt signalen van een paar mV tot tientallen V. Al deze wisselspanningen moet u nauwkeurig kunnen meten. Aan een voltmeter hebt u dus niets, u moet het zoeken in de mV-meters. De goedkoopste oplossing komt (uiteraard) uit China. De TVT-321 van Long Wei (LW) wordt door diverse leveranciers op AliExpress aangeboden voor een prijs van ongeveer € 100,00. Hij meet volle schaal van 0,3 mV tot 100 V in twaalf bereiken. Het frequentiegebied gaat van 5 Hz tot 1 MHz met een nauwkeurigheid van ±10 % en van 30 Hz tot 100 kHz met ±2 %. Uiteraard heeft deze meter ook een dB-schaal.



De TVT-321 van Long Wei. (© Banggood)

Een andere optie is dat u op zoek gaat naar een oude tweedehandse meter, bijvoorbeeld een PM2454 van Philips of een HP400 van Hewlett Packard. Hoewel deze apparaten uit de zeventiger jaren van de vorige eeuw stammen werken zij nog steeds betrouwbaar en zijn wat constructie betreft veel professioneler uitgevoerd dan een TVT-321 van Long Wei. Via ebay treft u, als u geluk hebt, dergelijke meters aan voor ongeveer € 100,00 tot soms zelfs slechts € 50,00. Let er bij lage prijzen op dat het geen '*Parts Only*' aanbiedingen zijn! Hiermee worden defecte apparaten bedoeld, alleen geschikt om te slopen en hergebruik van de onderdelen. Let ook even op de verzendingskosten die bij ebay vaak exuberant hoog zijn.



De PM2454 van Philips. (© pa3esy.nl)

De LW-322D digitale mV_{ac}/dB-meter

Deze digitale meter van het Chinese Long Wei is speciaal ontwikkeld voor het meten van zeer kleine wisselspanningen. Met zijn laagste volle schaal bereik van 3,999 mV kunt u zelfs een spanning van minder dan 1 mV goed meten. Als u dat combineert met een gespecificeerd frequentiebereik tot 2 MHz en een nauwkeurigheid van ±1,5 % tot 100 kHz lijkt deze meter ideaal voor iedereen die vaak met audioschakelingen experimenteert. Wat deze meter echter helemaal onweerstaanbaar maakt is dat hij in staat is dB's te meten. Met het 0 dB punt bij 1,00 V kunt u volgens de specificaties meten van -79 dB tot +50 dB. De prijs van het apparaat ligt tussen € 110,00 en € 193,00, even googlen loont dus. Bij Banggood wordt hij momenteel aangeboden voor € 143,36.
Wij hebben deze meter getest en hij blijkt te meten binnen de specificaties. Het apparaat is zeer zorgvuldig geconstrueerd. Het ontwerp van de elektronica is echter vrij ouderwets, wat natuurlijk geen invloed hoeft te hebben op de kwaliteit van de meter. De logaritmische omvormer die nodig is voor de dB-metingen is bijvoorbeeld volledig opgebouwd uit transistoren en op-amp's, er is geen processor aanwezig die de dB-waarden berekent uit de grootte van de spanning.



De LW-322D digitale mVac/dB-meter. (© Banggood)

De sinus- en blokgolfoscillator
Eigenlijk voldoet ieder apparaat dat sinussen en blokgolven produceert tussen 10 Hz en 100 kHz om te meten aan audioschakelingen. Wilt u echter comfortabel werken, dan moet u toch wat extra eisen stellen. Zo is het erg handig als er een nauwkeurig instelbare spanningsdeler aanwezig is, waarmee u de uitgangsspanning in diverse stappen kunt instellen. Een bereik van 0 V tot 10 mV als laagste bereik is een pluspunt. Soms moet u immers een voorversterker testen en dan hebt u dergelijke lage spanningen nodig. Een tweede pluspunt is een generator die uit batterijen wordt gevoed. Bij gebruik van netgevoede generatoren is immers altijd de kans aanwezig dat u zonder het te merken een massalus maakt of dat er netbrom op lage uitgangsspanningen aanwezig is.
Wilt u echter niet alleen frequentie-karakteristieken meten, maar ook vervormingen gaan opsporen, dan is het absoluut noodzakelijk dat de gebruikte sinusoscillator een eigen harmonische vervorming heeft die veel lager is dan de vervorming die u wilt meten. Moderne versterkers gaan met een eigen vervorming van minder dan 0,1 % door het leven. Uw sinusoscillator moet dus een eigen vervorming hebben die kleiner is dan 0,05 %!
Het gevolg is dat u uw vertrouwde functiegenerator even aan de kant moet zetten. Deze apparaten hebben immers een veel te grote eigen vervorming om dergelijke kleine vervormingen te kunnen meten. De oude, vertrouwde '*toonfiets*' of RC-oscillator, werkende met een perfect ontworpen en uitgevoerde brug van Wien, is nog steeds het beste sinus-genererende apparaat. Helaas treft u dergelijke oscillatoren nauwelijks nog aan in moderne apparatuur, zodat een beroep moet worden gedaan op de tweedehands markt.
Een apparaat dat aan alle wensen (behalve de batterijvoeding) voldoet is de PM5110 van Philips. Werkt in het frequentiebereik van 10 Hz tot 100 kHz, heeft een eigen vervorming van 0,03 % en levert ook blokgolven. Op ebay wordt hij wel eens aangeboden voor ongeveer €

100,00.



De PM5110 van Philips. (© artisantg.com)

In de PM5xxx reeks van Philips zijn er ook andere RC-oscillatoren die een zeer lage vervorming hebben. Wij gebruiken zélf de PM5109S met een frequentiebereik van 10 Hz tot 100 kHz. Met zijn maximale harmonische vervorming van slechts 0,03 % tussen 300 Hz en 20 kHz en 0,07 % tussen 10 Hz en 100 kHz voldoet deze analoge RC-generator aan alle eisen. Hij heeft een geijkte dB-verzwakker van 10 dB, 20 dB en 30 dB waardoor de grootte van het uitgangssignaal heel nauwkeurig kan worden ingesteld. De ingebouwde meter heeft een volle schaal bereik van 10 V tot 10 mV.

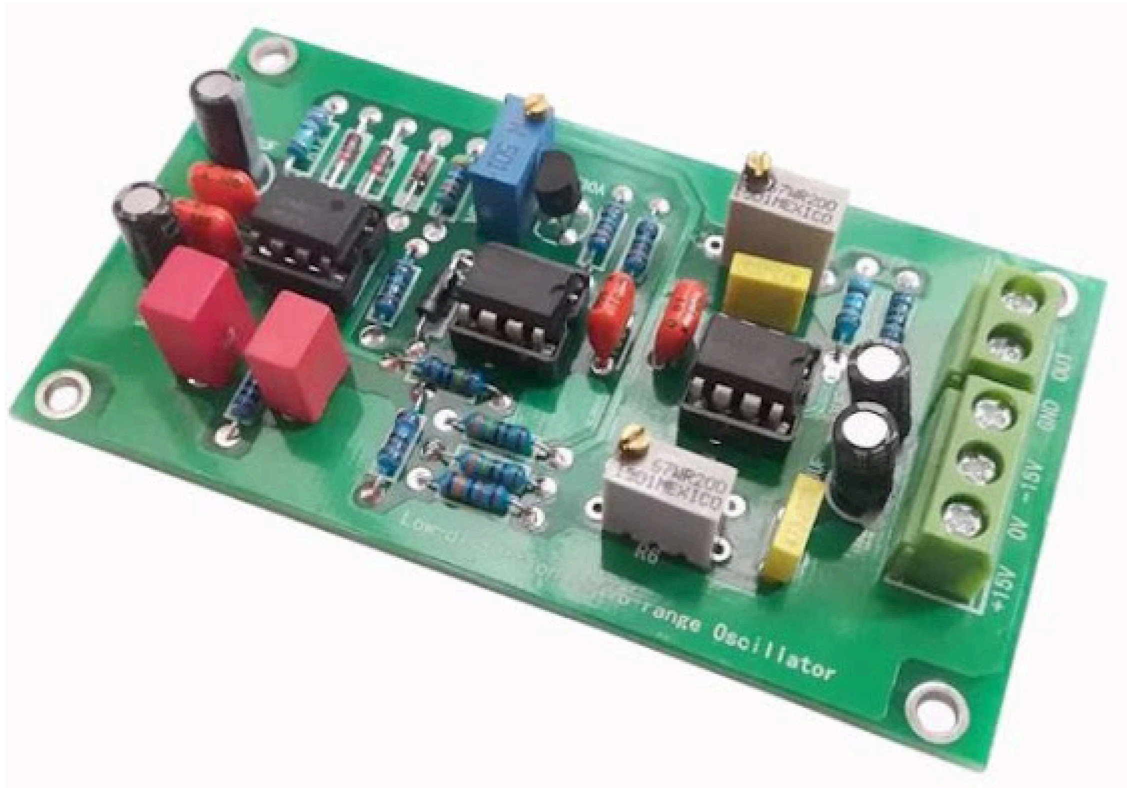

De PM5109S van Philips. (© 2025 Jos Verstraten)

Ook interessant zijn uiteraard ook de oude RC-oscillatoren van Hewlett Packard. Als voorbeeld nemen wij de HP239A die een frequentiebereik heeft van 10 Hz tot 110 kHz en een variabele uitgangsspanning levert tussen 1 mV en 3,16 V. Bij 3,0 V bedraagt de vervorming slechts 0,0018 % tot 20 kHz en 0,032 % tot 110 kHz. Op ebay hebben wij aanbiedingen gezien van ongeveer € 200,00.



De HP239A van Hewlett Packard. (© 2025 Jos Verstraten)

Een vaste freqentie met minimale vervorming
Als u tevreden bent met slechts één frequentie als referentie voor vervormingsmetingen kunt u onderstaand Chinees printje kopen voor ongeveer € 20,00. Google op '*Low Distortion Audio Range Oscillator 1KHz Sine Wave Signal Generator*'. Het lege printje mét schema koopt u al voor € 2,50. Deze schakeling levert een sinus van 1 kHz met een harmonische vervorming van minder dan 0,006 % en een amplitude van ongeveer 7 V. De schakeling wordt symmetrisch gevoed uit ±15 V en is samengesteld rond twee maal NE5532 en een maal TL071.



Een 1 kHz sinusoscillator met extreem lage vervorming. (© AliExpress)

Een nabouwschema van een 0,02 % sinusoscillator
Een zeer bruikbaar apparaatje kunt u maken door gebruik te maken van een schema dat in april van 1997 in het Duitse tijdschrift ELV is gepubliceerd en dat nu is vrijgegeven. Deze sinusoscillator heeft een frequentiebereik van 10 Hz tot 100 kHz, met een gegarandeerde maximale vervorming van 0,02 % bij 1 kHz. Uiteraard kan het apparaat ook een blokgolf leveren, zelfs met instelbare duty-cycle. Het handzame apparaatje, zie onderstaande figuur, kan bovendien gevoed worden uit een 9 V batterij, hetgeen veel problemen met massalussen en inductie-brom kan voorkomen.

Aanklikbare link ➞ **SG1000_oscillator_ELV.pdf**



Een nabouw apparaat gepubliceerd in ELV. (© ELV)

De oscilloscoop
Een oscilloscoop is nuttig voor het bekijken van het soort vervorming dat een audio-apparaat opwekt en voor het meten van het maximale vermogen. De eisen die aan een dergelijk apparaat gesteld worden zijn bij deze toepassingen minimaal.
In feite is zelfs de '*slechtste*' scoop goed genoeg voor het meten aan audio-apparaten. Handig is wel als het apparaat beschikt over een laagste gevoeligheid van 1 of 2 mV/div, zodat u ook spanningen in gevoelige voorversterkers goed kunt bekijken.

De audio dummy load
Als u wilt testen wat het reële maximale vermogen is dat een audio eindversterker kan leveren hebt u weerstanden van 4 Ω of 8 Ω nodig die heel wat vermogen kunnen dissiperen. Hiervoor zijn speciale weerstanden, zogenaamde dummy loads, is de handel met vermogens van 50 W of 100 W. Zij hebben een totale lengte van 165 mm. Dergelijke onderdelen kosten ongeveer € 15,00. Google op '*High Power Audio Dummy Load*' voor leveranciers.



E*en 100 W audio dummy load. (© Wagner Electronics)*

De distortiemeter
Helaas zijn er erg weinig voor de hobbyist betaalbare vervormingsmeters te vinden. De moderne apparatuur is onbetaalbaar, dus moet u ook nu weer zoeken naar apparatuur uit de vorige eeuw die bijvoorbeeld op ebay wordt aangeboden.

De HP331A van Hewlett-Packard
Deze meet vervormingen in het frequentiebereik van 5 Hz tot 600 kHz met een meetbereik van minimaal 0,1 % volle schaal. U kunt de HP331A ook als AC mV-meter gebruiken met bereiken van 0,3 mV tot 300 V in stappen van 10 dB.
Het nadeel van dit apparaat is dat u de weg te filteren frequentie met de hand moet instellen en dat u daarvoor aan drie knopjes moet draaien die elkaar beïnvloeden. Die afregeling is heel kritisch, u moet die knoppen afregelen tot de naald van de meter op minimum staat. Maar als de meetfrequentie tijdens de meting ook maar iets afwijkt slaat de naald in de hoek van de schaal en kunt u opnieuw beginnen.
Dit grote en loodzware apparaat wordt via ebay aangeboden voor prijzen tussen € 150,00 en € 300,00.



De HP331A van Hewlett-Packard. (© ebay)

De HP334A van Hewlett-Packard
Dat was de opvolger van de HP331A. Het enige, maar zeer belangrijke verschil is dat deze meter over een extra schakelaar beschikt. Als u deze schakelaar in de stand '*auto*' zet zal het apparaat de drift op de ingangsfrequentie volgen en het banddoorlaat filter steeds afregelen op maximale onderdrukking van de meetfrequentie.
Deze distortiemeter wordt op ebay aangeboden voor prijzen vanaf € 250,00.

De LDM-171 van Leader
Een minder bekende distortiemeter met een frequentiebereik van 20 Hz tot 20 kHz en meetbereiken voor vervorming vanaf 0,1 % volle schaal. De ingangsspanning moet liggen tussen 0,35 V en 30 V. Ook deze meter werk semi-automatisch, dat wil zeggen dat u eerst met de hand zo goed mogelijk moet afstemmen op de meetfrequentie en dat vanaf een bepaalde mate van afstemming de elektronica in het apparaat het overneemt. Voor een dergelijk instrument betaalt u op ebay tussen € 180,00 en € 275,00 exclusief verzend- en eventueel importkosten.



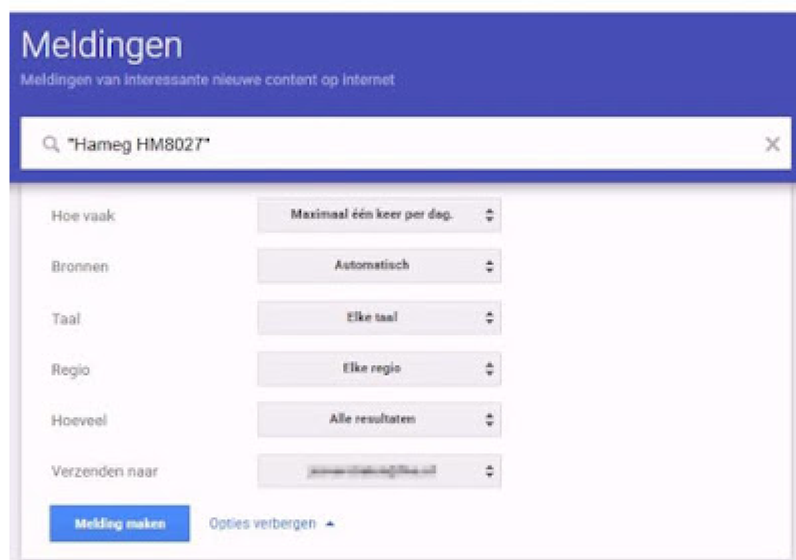
De LDM-171 van Leader. (© ebay)

De HM8027/HM8037 combinatie van Hameg
Dit is een uiterst zeldzaam en kostbaar juweeltje van het Duitse Hameg. Die firma, zeer bekend van de oscilloscopen, maakte ook nog andere meetapparatuur. Zoals deze combinatie van een sinusoscillator met zeer lage vervorming en een distortiemeter. Hoewel er waarschijnlijk duizenden van deze apparaten zijn verkocht zult u ze zeer zelden te koop aantreffen. Die zeldzame aanbiedingen zijn bovendien vrij kostbaar, u moet rekenen op een prijs van minstens € 500,00.
De HM8027 is een zich zélf afstemmende digitale harmonische vervormingsmeter met een frequentiebereik dat loopt van 20 Hz tot 20 kHz, verdeeld over drie bereiken. De vervorming wordt gemeten in twee bereiken van 100 % en 10 %, met een laagst te meten waarde van 0,01 %. De eigen vervorming is zeer laag, typisch 0,005 % bij 1 kHz.
De LF-oscillator HM8037 heeft een frequentiebereik van 5 Hz tot 50 kHz. De harmonische vervorming bedraagt typisch rond 0,005 % bij 1 kHz en maximaal 0,05 % bij 50 kHz. De amplitude-afwijking wordt gegeven als maximaal ±0,2 dB over het volledige frequentiebereik.



De HM8027/HM8037 combinatie van Hameg. (© Ricardo)

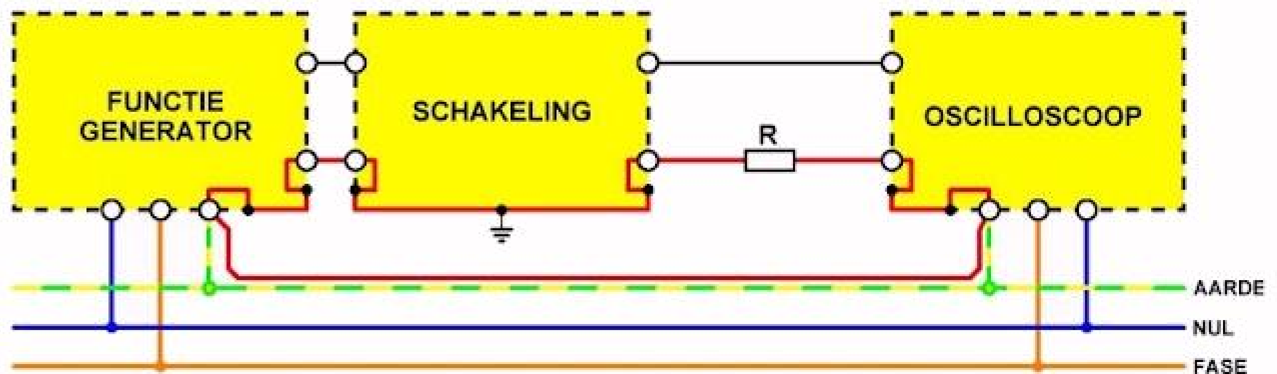
TIP: stel een Google Alert in
Als u uw zinnen hebt gezet op een van de beschreven apparaten is het verstandig een '*Google Alert*' in te stellen. U moet wél een account bij Google aanmaken (als u dat nog niet hebt). Ga nadien naar:
Aanklikbare link ➞ **https://www.google.com/alerts**
en maak een Google Alert aan door de naam van het meetapparaat in te vullen in het venstertje. Als Google bij het indexeren van pagina's op internet een pagina tegenkomt waar de naam van het meetapparaat in voorkomt stuurt Google u een emailtje met de link naar die pagina.



Een Google Alert instellen. (© 2025 Jos Verstraten)

Het meten van spanningsniveaus

Het probleem van aardlussen
Vaak treft u in audio-apparatuur signaalspanningen aan die slechts een paar mV groot zijn. Bij het meten van dergelijke kleine spanningen moet u er voor zorgen dat de spanning niet verontreinigd wordt door externe stoorsignalen. Het zal duidelijk zijn dat van betrouwbare metingen niets terecht komt als u een signaalspanning van 1 mV meet als 2,3 mV!
Heel vaak ontstaan de problemen door zogenoemde '*aardlussen*', gevolg van het onderling verbinden van twee geaarde apparaten. Als uw meetapparatuur netgevoed is en de metalen behuizingen geaard zijn ontstaan heel gemakkelijk aardlussen. De massa van uw meetapparatuur hangt dan immers ook via het metalen chassis aan de aarde. Er ontstaat dan een gesloten aardlus tussen de massa-verbindingen in uw meetopstelling en de aarde-verbindingen via de geaarde wandcontactdozen. Dit is in het rood voorgesteld in de onderstaande figuur. De weerstand R vertegenwoordigt de verbindings- en bedradingsweerstanden in het systeem. Door zo'n massalus kan een stroom gaan vloeien vanwege allerlei kleine spanningsverschillen tussen de diverse massa's in de meetopstelling. Omdat R klein is, kan de stroom best wel een hoge waarde bereiken. Deze stroom wekt over de weerstand R een spanning op waarvan de grootte, de vorm en het frequentiebereik niet te voorspellen zijn. Maar die spanning staat wél is serie met de spanning die de te meten schakeling aan uw oscilloscoop of mV-meter levert en wordt dus ook gemeten.



Het ontstaan van een aardlus. (© 2025 Jos Verstraten)

Dergelijke signalen zijn van geen belang als u signaalspanningen van meerdere 100 mV meet, maar kunnen de meting verstoren als u in het mV-bereik moet meten.

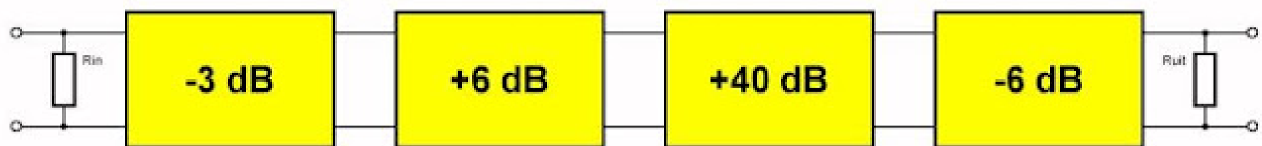
Aardlussen voorkomen
Zodra een apparaat (bijvoorbeeld de functiegenerator) van de aardaansluiting wordt losgekoppeld, is de lus open. De meest ideale situatie is als een van de meetapparaten batterijgevoed is. Natuurlijk zijn er ook nog andere methoden om aardlussen te voorkomen. Zo kan er bijvoorbeeld een scheidingstrafo trafo of een potentiaalscheider (isolatieversterker) worden gebruikt. Dat levert echter vermoedelijk weer andere storingen op zoals ruis, vervormingen, etc. Ook een symmetrische meetingang op een mV-meter kan een aardlus voorkomen als het apparaat zélf geaard is. In dat geval wordt ook brominstraling voorkomen, wat anders alleen bij een heel goede afscherming mogelijk is.

Het probleem van HF-instraling
Naast bromstoringen kunnen ook sterke HF-zenders voor instraling zorgen. Slecht afgeschermde meetsnoeren kunnen opgenomen HF-golven demoduleren en daardoor meetbaar maken. Dat werkt natuurlijk als een extra laagfrequente stoorspanning, die in het originele signaal van het te testen apparaat echter niet aanwezig is. Dit probleem hebben meetversterkers in meetapparatuur, die zijn samengesteld met operationele versterkers normaal niet, omdat ze door de symmetrische werkwijze van hun interne schakeling nauwelijks demodulatie-eigenschappen vertonen. Bij goede meetapparaten en -kabels zijn stoorafstanden van 80 dB en meer niets bijzonders. Bij een signaalspanning van 1 V valt derhalve een stoorsignaal van 0,1 mV te meten.

Versterking van één trap meten
Bij het meten van versterkingen van trappen werkt u steeds met een signaal met een frequentie van 1 kHz. Deze frequentie ligt op de logaritmische as midden in het bereik 10 Hz tot 100 kHz en wordt in de audiotechniek algemeen als referentiefrequentie gebruikt. U meet eerst de ingangsspanning U_{in} met uw mV-meter en nadien de uitgangsspanning U_{uit}. In beide gevallen noteert u de dB-waarde van de naalduitslag. Hierbij met u uiteraard rekening houden met de stand van de bereikenschakelaar. De versterking van de trap is gelijk aan het verschil tussen beide dB-waarden:
$A = U_{uit} - U_{in}$ (dB)
Stel dat de ingangsspanning gelijk is aan -26 dB en de uitgangsspanning gelijk aan -12 dB, dan is de versterking van de trap gelijk aan:
A = -26 dB - [-12 dB] = -26 dB + 12 dB = 14 dB
Een versterking van 14 dB komt overeen met ongeveer 5 maal (zie de tabel).

In serie geschakelde trappen
Audioschakelingen bestaan meestal uit verschillende in cascade geschakelde trappen, zoals:
- Voorversterker.
- Impedantie-aanpasser.
- Toonregeling.
- Driver.
- Uitgangstrap.

Iedere trap heeft een eigen versterkingsfactor, zodat het systeem blokschematisch kan voorgesteld worden zoals getekend in de onderstaande figuur. Meet op de beschreven manier de versterking van ieder blok. U kunt nadien de totale versterking berekenen door de deelversterkingen bij elkaar op te tellen. Dus:
A_{totaal} = [-3 dB] + [+6 dB] + [+40 dB] + [-6 dB]
A_{totaal} = +37 dB



Versterkingen van trappen in dB worden opgeteld. (© 2025 Jos Verstraten)

Frequentiekarakteristieken opnemen

Wat is de bedoeling?
Bij het opnemen van een frequentiekarakteristiek gaat u onderzoeken hoeveel een schakeling sinussignalen met diverse frequenties maar identieke grootte versterkt of verzwakt ten opzichte van een referentie frequentie van 1 kHz. De resultaten noteert u in een grafiek. Vaak wordt bij de technische specificaties van een apparaat echter alleen maar een frequentiebereik aangegeven, bijvoorbeeld 20 Hz tot 22.000 Hz, zonder specificatie van de versterkingsafwijking over die volledige frequentieband.

Diverse soorten frequentiekarakteristieken
Audio-apparatuur moet aan bepaalde specificaties voor de frequentiekarakteristiek voldoen.

- **Lineaire versterkers:**
  Alle frequenties moeten even veel versterkt worden, zodat de onderlinge afwijking in versterking 0 dB moet bedragen. Een typisch voorbeeld van een lineaire versterker is een eindversterker.
- **Correctie versterkers:**
  Hierbij worden niet alle frequenties evenveel versterkt. Een typisch voorbeeld is uiteraard een correctie versterker voor het versterken van het signaal van vinylplaten,

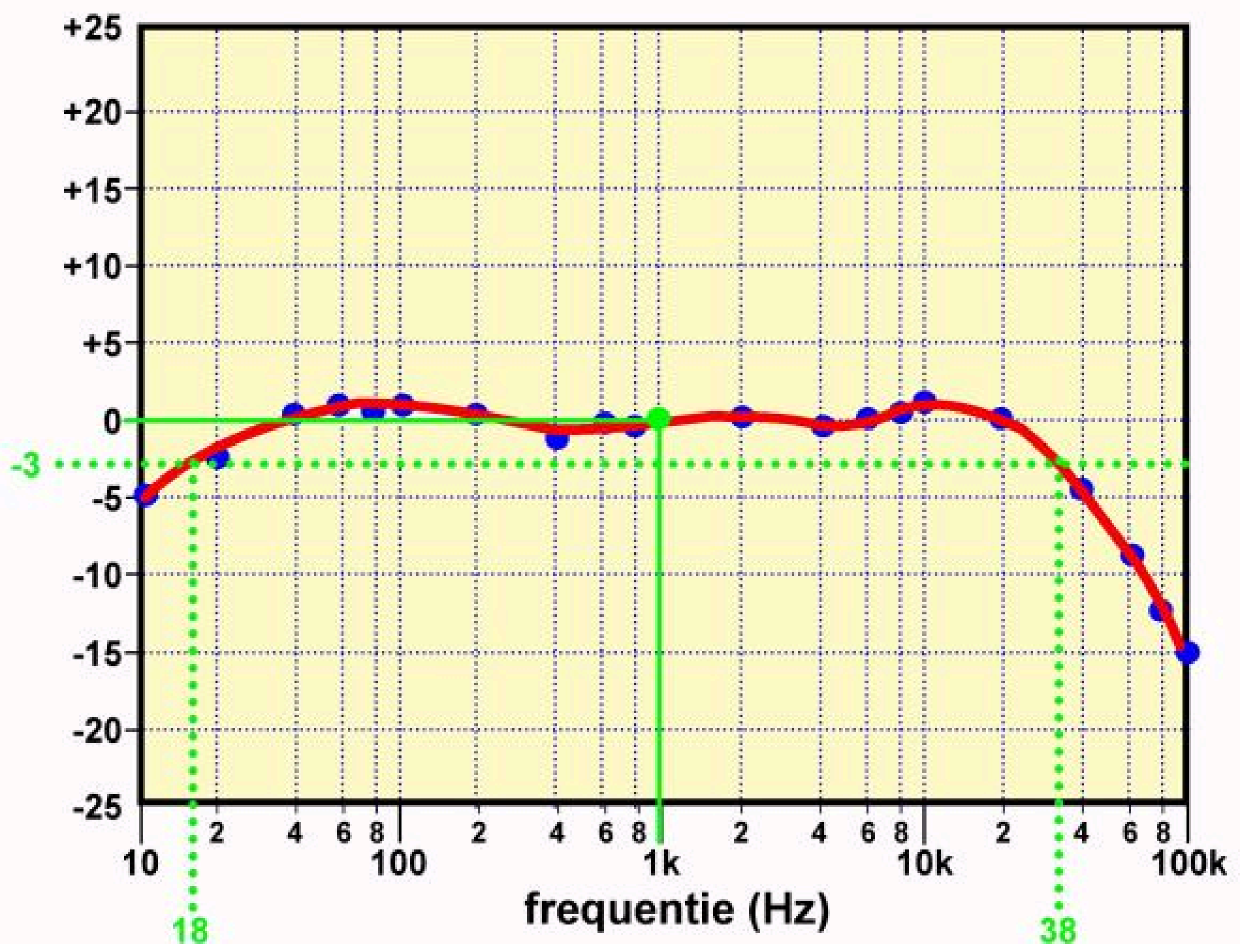
die moet voldoen aan een heel specifieke frequentiecurve. Die curve is internationaal gestandaardiseerd volgens de RIAA-specificaties.
- **Toonregel versterkers:**
Hierbij kunt u de lage en de hoge frequenties individueel regelen van grote verzwakking tot grote versterking. Ook voor dergelijke versterkers zijn bepaalde internationaal aanvaarde standaarden afgesproken, zoals bijvoorbeeld de typische frequentiekarakteristiek van een Baxandall toonregel versterker.

Referentie
Het uitgangsniveau voor een frequentie van 1.000 Hz wordt als 0 dB gedefinieerd. Aan dit nulpunt worden dan alle niveaus onder en boven deze frequentie gerelateerd.

Het meetprincipe
Voor het meten van een frequentiekarakteristiek zijn een mV-meter en een regelbare sinusgenerator nodig. Handig is een oscilloscoop voor het optisch controleren van de meetprocedure. In de meeste gevallen zal men de '*rechte*' frequentiekarakteristiek van een systeem willen opmeten. Dat is de karakteristiek met alle frequentiebepalende potentiometers (toonregeling) in de neutrale stand gezet.
Een normale meetprocedure bestaat uit de onderstaande stappen:

- Print een exemplaar af van het Logaritmisch_Papier_01.pdf, zie de inleiding van dit artikel.
- Sluit de schakeling zowel aan de in- als aan de uitgang af met de voorgeschreven afsluitweerstanden.
- Sluit de sinusgenerator aan op de ingang van de versterker en de mV-meter en eventueel een oscilloscoop op de uitgang.
- Zet de sinusgenerator op 1 kHz en voer de signaalgrootte van dit signaal op tot het uitgangsniveau van de te testen schakeling 0 dB is. Noteert de grootte van het ingangssignaal.
- Kies een aantal meetfrequenties in de eerste frequentie decade, bijvoorbeeld 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz en 80 Hz. Stel de sinusgenerator op deze frequenties in, zorg dat het apparaat steeds dezelfde signaalgrootte levert als bij 1 kHz en meet telkens het uitgangsniveau in dB.
- Zet puntjes in de grafiek bij de gemeten waarden.
- Meet de volgende decade, dus 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 600 Hz en 800 Hz.
- Ga zo verder tot u het gewenste frequentiebereik volledig gemeten hebt.
- In de grafiek staan nu een heleboel meetpuntjes die u met een mooie, vloeiende lijn moet verbinden.

Het resultaat, getekend in de onderstaande figuur, is de frequentiekarakteristiek van het gemeten apparaat. Kleine afwijkingen in de vloeiende lijn worden veroorzaakt door onvermijdelijke meetfouten. De signaalgrootte van de sinusgenerator is bij één meting iets te hoog ingesteld, in plaats van -3,7 dB werd -4 dB afgelezen, etc. Vandaar dat meestal de lijn niet door alle meetpunten heen wordt getrokken, maar tussen de meetpunten waardoor deze meetfouten worden geëlimineerd.



Het opmeten van een frequentiekarakteristiek. (© 2025 Jos Verstraten)

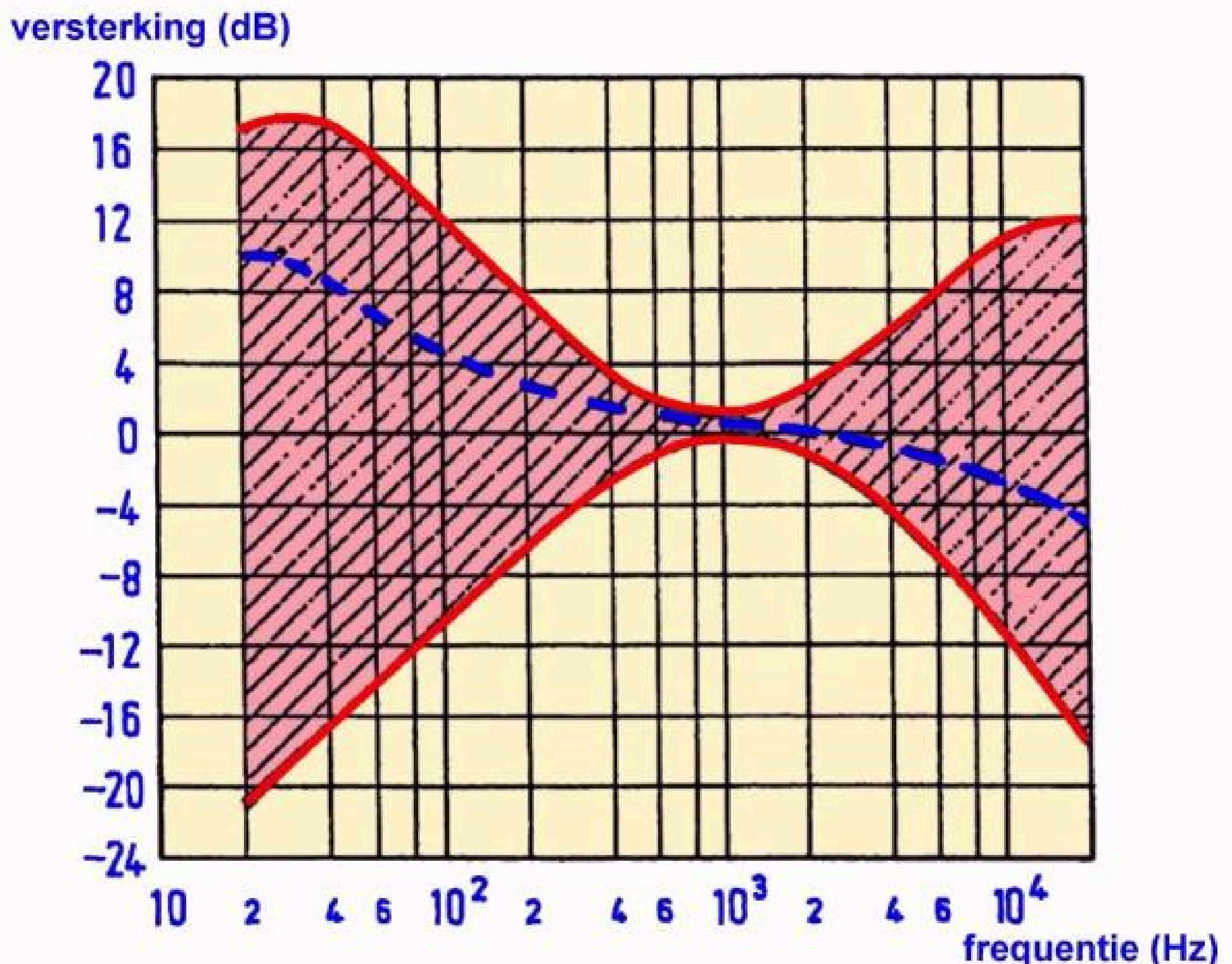
De bandbreedte
Aan de hand van de frequentiekarakteristiek van een audiosysteem kunt u de bandbreedte definiëren. De bandbreedte is het frequentiegebied, waarbij de versterking minder dan -3 dB afwijkt ten opzichte van de versterking bij 1 kHz.
In het behandelde voorbeeld is het -3 dB punt onder de vorm van een groen gestippelde horizontale lijn ingetekend. De bandbreedte van het geteste systeem loopt dus van ongeveer 18 Hz tot ongeveer 38 kHz.

Gestandaardiseerde testfrequenties
Wij schreven dat u kunt meten met frequenties van 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, etc. Deze frequenties sluiten het best aan op de frequenties die op de horizontale as van onze grafiek zijn ingevuld. Officieel worden echter andere testfrequenties voorgeschreven, namelijk:

- 31,5 Hz
- 40 Hz
- 63 Hz
- 250 Hz
- 500 Hz
- 1 kHz
- 2 kHz
- 4 kHz
- 6,3 kHz
- 8 kHz
- 10 kHz
- 12,5 kHz
- 14 kHz
- 16 kHz

- 18 kHz

Meten aan toonregelingen
Na de rechte frequentiekarakteristiek wilt u uiteraard ook het regelbereik van de toonregeling meten. In principe gaat dit op dezelfde manier, maar u moet er wel op letten dat de grote versterkingen die dan kunnen optreden de schakeling niet oversturen. Stel dat u de karakteristiek wilt opnemen met de lage en hoge tonen potentiometers maximaal open gedraaid. U begint dan weer bij 1 kHz en draait de sinusgenerator open tot de uitgangsspanning 0 dB bedraagt. Alvorens echter de meetprocedure te beginnen moet u controleren of het hiervoor noodzakelijke ingangsniveau de versterker niet overstuurt bij de laagste en hoogste frequenties. Hiervoor is een oscilloscoop, geschakeld op de uitgang, noodzakelijk. U verlaagt langzaam de frequentie en controleert of het uitgangssignaal van de versterker een onvervormde sinus blijft. Gaan de toppen van de sinus afplatten dan wordt de schakeling overstuurd en moet u met een kleiner signaal meten.
Nadien voert u de frequentie op tot 20 kHz en voert dezelfde controle uit.
In de praktijk tekent men de twee lijnen, een met de toonregelaars maximaal open gedraaid en een met de potentiometers maximaal dicht gedraaid, in dezelfde grafiek. Een typisch voorbeeld van deze frequentiekarakteristieken is getekend in de onderstaande figuur. De gestippeld getekend blauwe lijn geeft één bepaalde karakteristiek weer, die overeen komt met één welbepaalde instelling van beide potentiometers.



De typische frequentiekarakteristieken van een Baxandall toonregeling.
(© 2025 Jos Verstraten)

Signaal/storing-verhoudingen meten

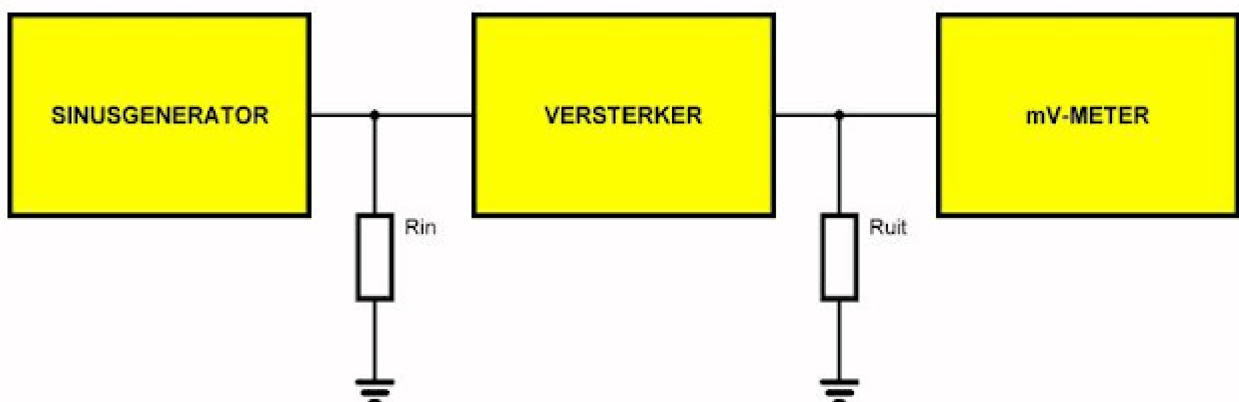
Storende signalen

Ruis en brom zijn de voornaamste storende signalen die in audio-apparatuur kunnen optreden. Ruis ontstaat in de elektronische onderdelen die in de schakelingen worden toegepast. Brom kan van de voeding komen, maar ook van instraling van netspanningssignalen via het magneetveld van voedingstrafo's en via slechte afschermingen. Tóch wordt in de prakrijk meestal gesproken van de signaal/ruis-verhouding, afgekort tot SNR, letterwoord van Signal Noise Ratio.

Het meetprincipe
U moet twee niveaumetingen uitvoeren, namelijk een van het totale spanningsniveau op de uitgang bij volledige uitsturing van het te testen apparaat en vervolgens een van de restniveaus van de stoorsignalen, zonder nuttig signaal aan de ingang. Als de spanning bij volledige uitsturing U_{uit} is en de stoorspanning U_{stoor} dan is de signaal/storing-verhouding in dB gelijk aan:
$SNR = 20 \cdot \log_{10} [U_{uit} / U_{stoor}]$ (dB)

De effectieve waarde van stoorspanning
Een analoge millivoltmeter geeft alleen bij een zuiver sinusvormig signaal de effectieve waarde aan. De stoorspanningen zijn echter niet sinusvormig en de meter zal dan niet de echte effectieve waarde van dit signaal weergeven. Om dit te corrigeren moet u een bepaalde correctiefactor invoeren. De factor 1,13 blijkt in de praktijk een goed gemiddelde te zijn. Als uw meter dus een ruisspanning van 5 mV meet moet u deze waarde vermenigvuldigen met 1,13 om bij benadering de effectieve waarde van de ruisspanning te weten.

De meetopstelling
De meetopstelling is in de onderstaande figuur weergegeven. U moet de te testen schakeling zowel aan de in- als aan de uitgang afsluiten met de voorgeschreven afsluitweerstanden. Bij audioversterkers wordt de ingangsweerstand meestal voorgeschreven als 47 kΩ.



Het meten van de signaal/storing-verhouding. (© 2025 Jos Verstraten)

Een praktisch voorbeeld
Stel dat u de SNR van een 50 W eindversterker wilt meten.

- U sluit de uitgang van de versterker af met een weerstand van 8 Ω.
- U sluit de ingang van de versterker af met een weerstand van 47 kΩ.
- Sluit een op 1 kHz ingestelde sinusgenerator aan op de ingang van de versterker en een oscilloscoop en mV-meter op de uitgang.
- Verhoog het signaal van de generator tot het signaal op de uitgang van de versterker net niet gaat vervormen. U meet een spanning van 20 V_{eff}.
- Verwijder de sinusgenerator aan de ingang en meet de spanning op de uitgang van de versterker. U meet 2 mV.
- Vermenigvuldig dit met de correctiefactor:
  2 $mV_{gemeten} \cdot 1{,}13 = 2{,}26\ mV_{eff}$
- Uit de twee gemeten spanningen kunt u de waarde van de SNR berekenen:
- $SNR = 20 \cdot \log_{10} [20\ V / 0{,}00226\ V]$ (dB)

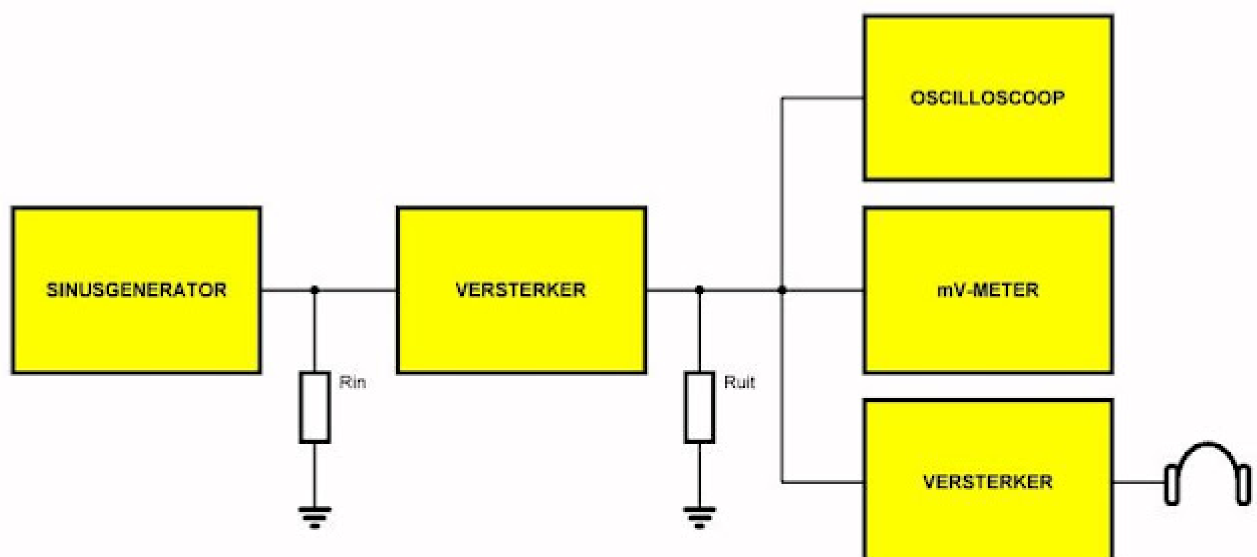
- SNR = 20 • log_{10} [8.849] (dB)
- Vraag aan ChatGPT wat de log_{10} is van het getal 8.849
- SNR = 20 • 3,946 (dB)
- SNR = 79 dB

Rechtstreeks in dB meten
In plaats van spanningen af te lezen kunt u natuurlijk ook bij beide metingen de dB-waarde van de mV-meter aflezen. Dat maakt de berekening van de log_{10} waarde overbodig. Als het niveau voor maximale uitsturing overeen komt met +20 dB en het ruisniveau met -56 dB, dan bedraagt de SNR van de geteste versterker 76 dB.

De dynamiek meten

Wat is de dynamiek?
De dynamiek van een versterker wordt gedefinieerd als het verschil in dB tussen het kleinste nog hoorbare uitgangssignaal en het grootste vervormingsvrije uitgangssignaal dat de versterker kan leveren. De ondergrens wordt dus bepaald door de ruisvloer van de versterker. Met andere woorden het minimale signaal dat nog hoorbaar boven de ruis uitkomt. De bovengrens wordt bepaald door het clippingpunt of de maximale uitgangsspanning waarbij de vervorming nog acceptabel laag blijft.
De dynamiek wordt berekend met dezelfde formule als waarmee de SNR wordt berekend.

Het meetprincipe
Het meetprincipe komt in grote lijnen overeen met dat voor de signaal/storing-verhouding. Alleen wordt bij het bepalen van de kleinste signaalspanning de sinusgenerator niet van het te testen apparaat gescheiden, maar op een minimaal niveau ingesteld. Voor het beoordelen van het kleinste niveau op de uitgang van de te testen versterker zou een hoofdtelefoon kunnen worden aangesloten, waarmee precies wordt vastgesteld wanneer het niveau boven het stoorgeluid wordt getild.
In de onderstaande figuur is de meetopstelling weergegeven. Ook nu meet u met een sinussignaal van 1 kHz. Bij de eerste meting stelt u de amplitude van de generator zo in dat het te testen apparaat volledig wordt uitgestuurd. Dat ziet u op de oscilloscoop en leest u af op de mV-meter. Bij de tweede meting verlaagt u het niveau zo ver tot de meettoon via de hoofdtelefoon nog net duidelijk van de ruis te onderscheiden is. Het verschil tussen de twee gemeten niveaus in dB komt overeen met het dynamisch bereik.



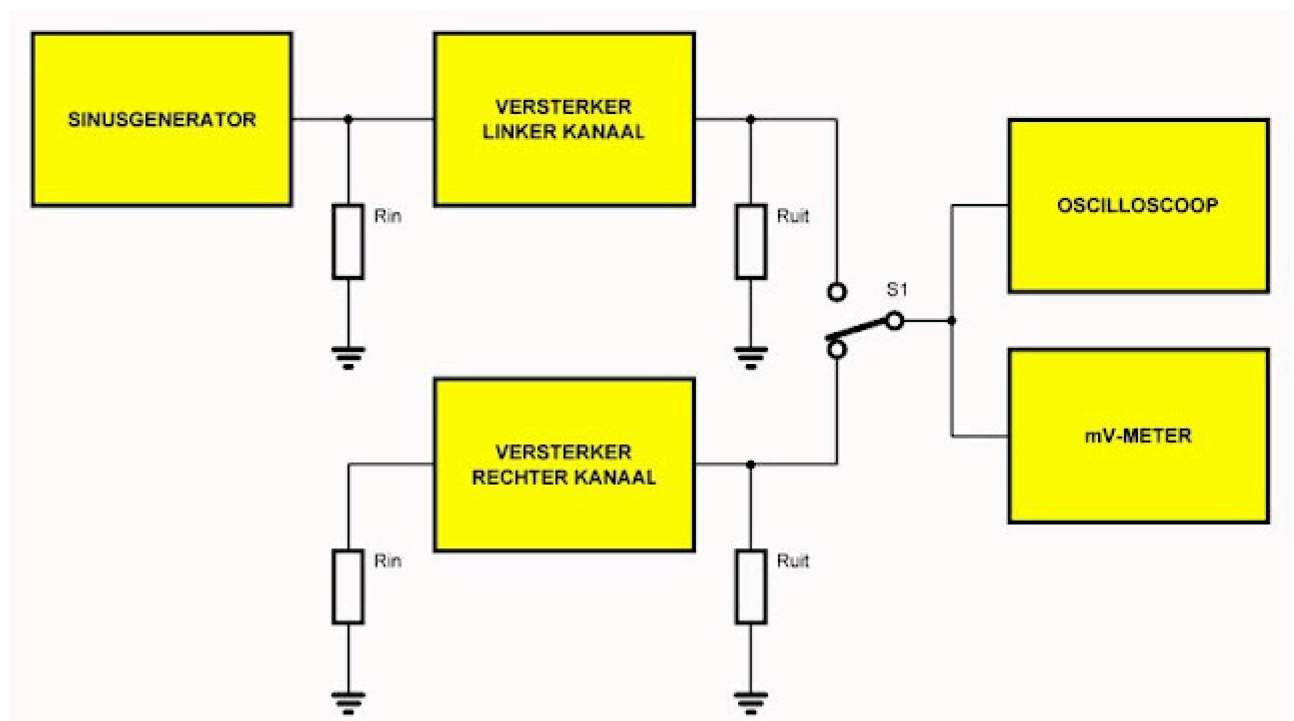
Het meten van de dynamiek van een versterker. (© 2025 Jos Verstraten)

Overspraakdemping meting

Inleiding
Als er meer dan één kanaal moet worden overgedragen, hetgeen tegenwoordig natuurlijk steeds het geval zal zijn (stereo), ontstaat er vaak onderlinge beïnvloeding, die gedefinieerd wordt met het begrip '*overspraak*' (Engels crosstalk). De signalen van het ene kanaal komen daarbij gedeeltelijk ook in het tweede kanaal terecht.
De overspraak is sterk afhankelijk van de frequentie en is bij hoge frequenties lager dan bij lage. Om die reden is het absoluut noodzakelijk om de meetfrequentie te specificeren. Het is handig om bij verschillende frequenties te meten.
Overspraak bij versterkers is hoofdzakelijk het resultaat van capacitieve instraling van het ene kanaal naar het andere, van een slechte ontkoppeling van de voeding of van verkeerd gelegde massadraden.

De definitie van overspraakdemping
Het linker kanaal wordt gestuurd met een sinussignaal dat het kanaal volledig uitstuurt. De ingang van het rechter kanaal blijft open. Als het ingangssignaal op de uitgang van het linker kanaal aanwezig is met een grootte U_o en op het rechter kanaal met een grootte U_{ov}, geldt voor de overspraakdemping:
$A_{ov} = 20 \cdot \log_{10} [U_o / U_{ov}]$ (dB)
De eenheid van deze logaritmische verhouding is weer de dB.

Het meetprincipe
In de onderstaande figuur is het meetprincipe weergegeven. Om te beginnen wordt het linker kanaal van het te testen apparaat via een op de ingang aangesloten sinusgenerator ingesteld op volledige uitsturing. Het rechter kanaal heeft alleen de gespecificeerde afsluitweerstanden R_{in} en R_{uit} aan zijn in- en uitgang. U meet eerst met uw mV- of dB-meter de referentiespanning U_o op de uitgang van het linker kanaal. Vervolgens sluit u de meetopstelling in zijn geheel aan op de uitgang van het rechter kanaal, waar idealiter geen signaal aanwezig zou moeten zijn. Uw mV-meter meet echter een restspanning U_{ov} die wordt veroorzaakt door de overspraak.
Meet u spanningen, dan vult u beide meetresultaten in de formule in en berekent de overspraakdemping. Meet u rechtstreeks in dB, dan moet u beide gemeten waarden bij elkaar optellen, zoals in een vorige paragraaf reeds beschreven.



Het meten van de overspraakdemping van een versterker. (© 2025 Jos Verstraten)

Maximaal vermogen meten

Inleiding

Geen enkele andere eigenschap van audio-apparatuur wordt zo misbruikt als het maximaal vermogen. Computerversterkertjes met luidsprekers, die volgens grote kreten op de verpakking 2 x 25 W kunnen leveren, worden gevoed uit een netstekkervoedinkje dat 12 V levert bij maximaal 1 A. Een simpele berekening leert dat een dergelijke voeding maximaal 12 W kan leveren en hoe hieruit twee maal 25 W luidsprekervermogen wordt gehaald is uiteraard het goed bewaarde geheim van de fabrikant! Men goochelt met kreten als '*muziekvermogen*', '*piekvermogen*', '*topvermogen*' en niemand die weet wat die begrippen precies inhouden.

Er bestaat in feite maar één goede definitie van vermogen en dat is het product van effectieve spanning over de luidspreker maal de effectieve stroom door de luidspreker. In formule:

$P_{effectief} = U_{effectief} \bullet I_{effectief}$

Nu is het meten van de effectieve uitgangsstroom niet erg handig, dus u kunt het uitgangsvermogen veel beter bepalen met de afgeleide formule:

$P_{effectief} = [U_{effectief}]^2 / R_{belasting}$

Een voorbeeld. Stel dat u een versterker belast met een dummy-weerstand van 4 Ω en over die weerstand een effectieve sinusspanning van 12 V meet. Het effectieve uitgangsvermogen is dan:

$P_{effectief} = 12^2 / 4 = 36$ W

Definitie van het maximaal vermogen

Nu duidelijk is wat de enig technisch juiste manier is om het vermogen te berekenen moet men natuurlijk definiëren wat men verstaat onder maximaal vermogen. Ook hier is de verwarring groot. Naast allerlei onzinnige definities die uit commerciële overwegingen zijn verzonnen (de meeste mensen willen nu eenmaal grote vermogens) zijn er twee technische definities.

De eerste bepaalt het maximaal vermogen als het vermogen dat in de belasting wordt gegenereerd als de versterker maximaal uitgestuurd wordt. De tweede definieert het maximaal vermogen als het vermogen dat ontstaat waarbij de harmonische vervorming onder een bepaalde gedefinieerde waarde blijft. Omdat vervorming natuurlijk afhankelijk is van de frequentie wordt in de meeste gevallen ook nog eens de meetfrequentie opgegeven.

Een definitie van het maximaal vermogen dat een versterker kan leveren als '*100 W in 8 Ω bij 1 kHz en 0,5 % vervorming*' is dus een goede definitie, omdat zij volledig in het laboratorium is te reproduceren.

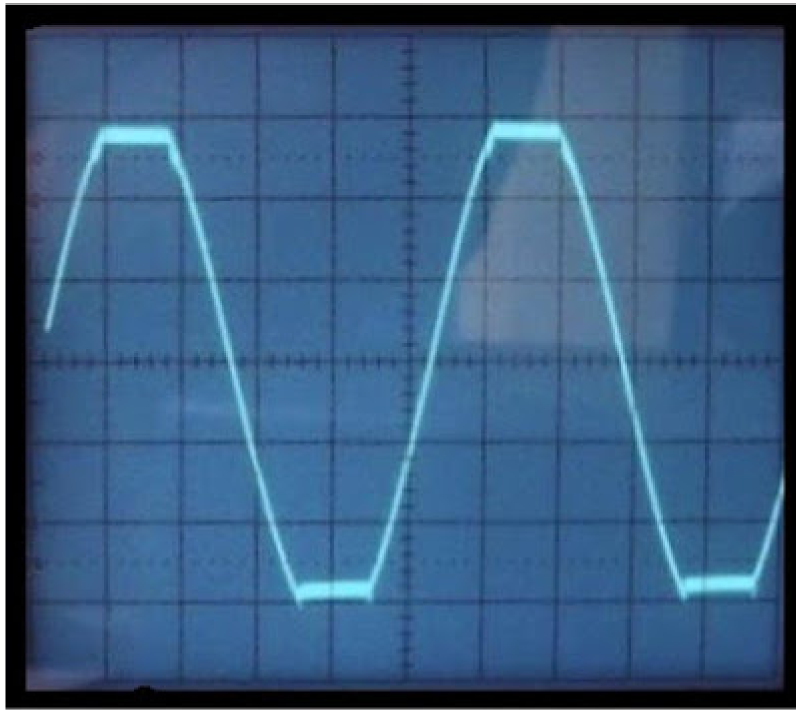
Meetprocédé bij bepaalde vervorming

Het meten van het maximaal vermogen bij een bepaalde frequentie en een bepaalde maximale harmonische vervorming is een tijdrovende bezigheid. Bovendien hebt u hiervoor een extreem vervormingsvrije sinusgenerator nodig en uiteraard een distortiemeter. Het procédé wordt beschreven bij het volgende hoofdstuk '*Harmonische vervormingen meten*'.

Stel dat u het maximaal vermogen wilt meten bij 1 % vervorming. Stel verder dat u zoveel vertrouwen in de versterker hebt dat u vermoedt dat het apparaat bij een vermogen van 25 W minder dan 1 % vervormt. U begint te meten bij 1 kHz en verhoogt de ingangsspanning tot de millivoltmeter het bij 25 W horende uitgangssignaal aangeeft. Deze waarde is uiteraard afhankelijk van de waarde van de belastingsweerstand. Nadien meet u de vervorming op de beschreven manier. Aan de hand van het resultaat van deze meting kunt u bepalen of de veronderstelling klopte. Is de vervorming groter dan 1 %, dan moet u de meting herhalen met een kleinere ingangsspanning. Is de vervorming kleiner dan 1 % dan kunt de ingangsspanning verhogen. Hebt u de juiste ingangsspanning gevonden die 1 % vervorming geeft, dan kunt u het geleverde uitgangsvermogen berekenen.

Meetprocédé bij maximale uitsturing

Wilt u het maximale vermogen meten bij maximale uitsturing, dan moet u eerste definiëren wat er precies bedoeld wordt met '*maximale uitsturing*'. Iedere goede eindversterker wordt tegenwoordig symmetrisch gevoed, bijvoorbeeld uit twee spanningen van +30 V en -30 V. De uitgangstransistoren of -FET's hebben een vijftal volt nodig om goed te werken, zodat er op de uitgang een spanningsbereik beschikbaar is van +25 V tot -25 V. Als u de versterker maximaal uitstuurt, zal de sinus op de uitgang precies tussen die twee grenzen vallen. Voert u nu de ingangsspanning iets op, dan zou de sinus op de uitgang groter willen worden. Dat kan echter niet, omdat er eenvoudigweg te weinig spanning beschikbaar is. Het gevolg is dat de toppen van de sinus gaan afplatten, hetgeen in de onderstaande figuur wordt voorgesteld. Het zal duidelijk zijn dat het vervormingspercentage nu dramatisch stijgt, waarden van meer dan 10 % zijn geen uitzondering.



Het bepalen van de maximale uitsturing van een versterker.
(© 2025 Jos Verstraten)

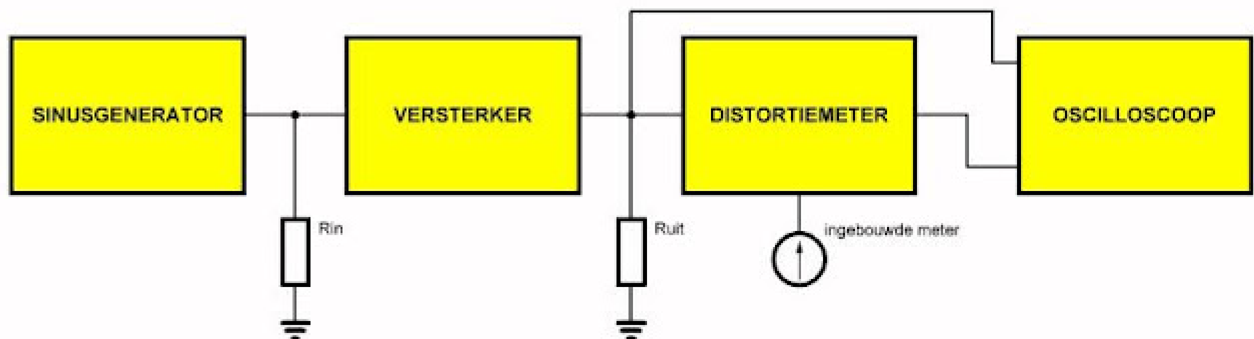
De meetsystematiek zal nu wel duidelijk zijn. De uitgang van de versterker wordt belast met een dummy weerstand en de uitgangsspanning wordt gemeten met de mV-meter en geobserveerd met de oscilloscoop. U zet de sinusoscillator op de gewenste frequentie en voert het ingangssignaal langzaam op tot de van de bovenstaande figuur bekende afplatting van de toppen van de sinus merkbaar wordt. U vermindert de grootte van de ingangssinus iets en u kunt vervolgens op de beschreven manier het maximaal vermogen bij maximale uitsturing berekenen.

Harmonische vervormingen meten

Wat is harmonische vervorming?
Als er aan de ingang van een LF-systeem een volledig onvervormde sinusspanning wordt gelegd, dan is het de bedoeling dat er op de uitgang een even onvervormde sinus ontstaat. Toch is dit in de praktijk niet het geval. Als het ingangssignaal een frequentie heeft van 1 kHz, dan zal het uitgangssignaal natuurlijk hoofdzakelijk bestaan uit een sinus van 1 kHz, maar daarnaast zullen er ook kleine signalen terug te vinden zijn met frequenties van 2 kHz, 3 kHz, kortom signalen met een frequentie die een veelvoud is van de frequentie van het ingangssignaal. Dit verschijnsel wordt de harmonische vervorming genoemd en ontstaat doordat de versterkende componenten in een audiosysteem, dus de buizen, transistoren of FET's, geen lineaire karakteristieken hebben.

Wat doet een distortiemeter?
De functie van een dergelijk apparaat is eigenlijk erg eenvoudig. De elektronica bevat een zeer scherp bandsperfilter dat ofwel met de hand ofwel automatisch wordt afgestemd op de meetfrequentie. Stel dat u een zeer zuiver sinussignaal met een frequentie van 1 kHz aan een versterker aanbiedt. In de uitgang van de versterker zijn, als gevolg van de vervorming die in de versterker ontstaat, ook kleine signaaltjes met frequenties van 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, etc. aanwezig. Een distortiemeter doet nu niets anders dan het signaal met een frequentie van 1 kHz volledig uit het uitgangssignaal wegfilteren, zodat alleen de vervorming overblijft. Die kunt u zichtbaar maken op uw oscilloscoop. Uit de verhouding tussen de grootte van het 1 kHz signaal op de uitgang tot de groottes van de overige componenten kan de meter het vervormingspercentage berekenen en op een meter met een procent-schaal weergeven.

Meetopstelling
De meetopstelling is getekend in de onderstaande figuur. Een sinusgenerator die een uitgangssignaal levert met een zeer kleine eigen vervorming wordt op de ingang van de te testen schakeling aangesloten. De uitgang van de te testen schakeling gaat naar de ingang van de distortiemeter en naar één kanaal van uw oscilloscoop. De uitgang van de distortiemeter gaat naar het tweede kanaal van uw oscilloscoop.



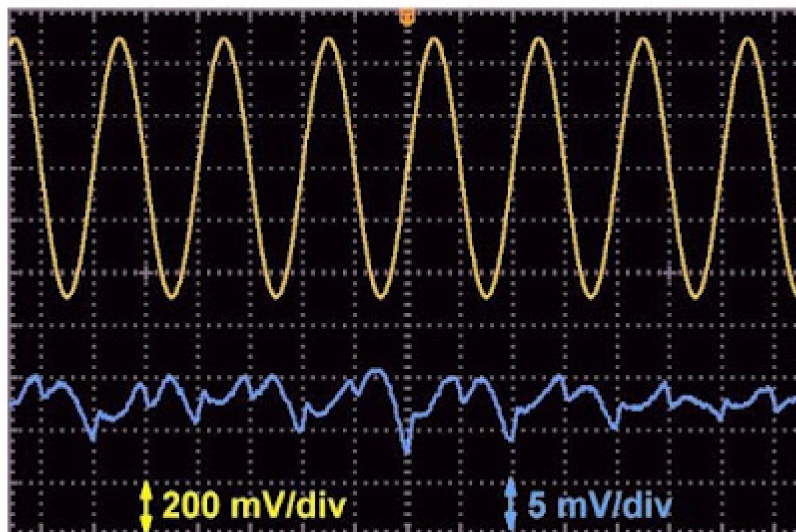
De meetopstelling voor het meten van harmonische vervorming. (© 2025 Jos Verstraten)

De meetprocedure
De procedure voor het meten van de harmonische vervorming is vrij ingewikkeld en bovendien bij ieder apparaat iets verschillend:

- Leg een sinus met een frequentie van 1 kHz aan het te testen apparaat. Natuurlijk moet de grootte van dit signaal zo ingesteld worden dat er geen sprake is van oversturing.
- Iedere distortiemeter heeft een knop '*100 % CAL*' en een potentiometer waarmee u de schaal precies op 100 % kunt instellen. Als dit niet lukt omdat de ingangsspanning te groot is kunt u gebruik maken van een verzwakker op de meter, die een extra signaalverzwakking introduceert.
- Schakel nu de meter over naar de stand '*Distortion*'.
- U moet nu de frequentie van het ingangssignaal (1 kHz) zo veel mogelijk onderdrukken. Alle meters hebben daar een aantal knoppen en/of draaischijven voor. Bij sommige meters geven twee LED'jes aan in welke richting u moet regelen. Bij dit afregelen zult u merken dat de diverse knoppen elkaar beïnvloeden en dat u dus de procedure een aantal keer moet herhalen. Bij de semi-automatische meters kunt u op een bepaald moment overschakelen naar de '*Auto*'-functie, waarbij de elektronica zélf afregelt op minimaal uitgangsniveau.
- U hebt de maximale onderdrukking ingesteld als de meter een zo laag mogelijke spanning aanwijst. Het filter staat nu exact ingesteld op 1 kHz.
- Bij dit afregelen kunt u de gevoeligheid van de meter stap na stap vergroten. Bij maximale onderdrukking van de meetfrequentie staat de schakelaar ongetwijfeld ingesteld op de stand '0,3 %'.
- De uitlezing geeft nu rechtstreeks de harmonische vervorming aan in procenten.

Belangrijke opmerkingen
Denk er aan dat u na iedere verandering van de grootte van de ingangsspanning de distortiemeter weer op 100 % moet afregelen! Vergeet u dit, dan heeft de aflezing op de meter van de distortiemeter geen enkele betekenis.
Hou er verder bij de niet-automatische meters rekening mee dat iedere afwijking op de frequentie van het signaal grote meetfouten tot gevolg heeft.

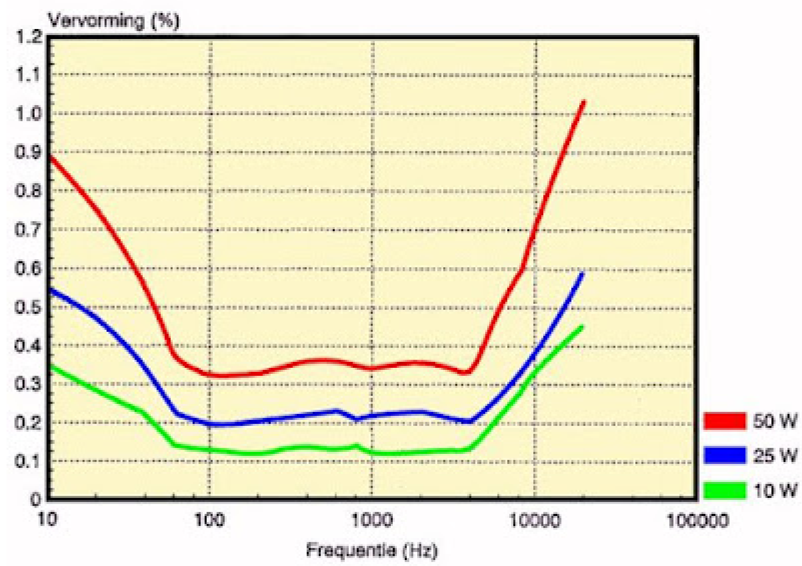
Vervorming zichtbaar maken
Zoals reeds beschreven is het nuttig om een oscilloscoop op de uitgang van de distortiemeter aan te sluiten. De distortiemeter geeft immers alleen een procentuele waarde, maar geeft géén informatie over het soort vervorming. In de onderstaande figuur is het schermbeeld van een tweekanaals oscilloscoop weergegeven waarop zowel het totale uitgangssignaal (gele trace) als de vervorming (blauwe trace) te zien zijn. Let op de gevoeligheidsinstelling van beide kanalen. De blauwe trace staat veertig keer gevoeliger ingesteld dan de gele!



Een voorbeeld van harmonische vervorming.
(© 2025 Jos Verstraten)

Hoe meten?
De mate van vervorming van een audiosysteem is van een aantal factoren afhankelijk, zoals:
- De frequentie.
- De mate van uitsturing.

U kunt dus vervormingskarakteristieken opstellen in functie van de frequentie en/of in functie van de mate van uitsturing. Vooral bij eindversterkers is dit laatste van belang. U wilt natuurlijk weten of het gespecificeerde vervormingspercentage ook gehaald wordt als u het maximale vermogen uit de versterker haalt. Spoiler: dat is bij geen enkele versterker het geval!
In de onderstaande figuur is de meest gebruikelijke manier weergegeven, waaronder men de vervorming van een audiosysteem specificeert. U meet bij verschillende frequenties en bij iedere frequentie meet u bijvoorbeeld bij drie verschillende uitgangsvermogens, in het getekende voorbeeld bij 10 W, 25 W en 50 W. U moet de versterker natuurlijk belasten met een dummy weerstand en het maximaal vermogen berekenen door de uitgangsspanning over deze weerstand steeds te meten. Daarvoor kunt u de formule:
$P = U^2 / R$ (W)
gebruiken.



Een volledige vervormingsanalyse van een versterker.
(© 2025 Jos Verstraten)